

监测与评价

土壤重金属污染综合评价—以东寨港为例

管敏琳, 娄小丹, 楼华敏

(煤科集团杭州环保研究院有限公司, 浙江 杭州 311201)

摘要:以东寨港 20 个采样站位的土壤沉积物样品为研究对象,分析测试了总磷(TP)、总氮(TN)、总有机碳(TOC)、石油类以及 Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As 等重金属元素的含量,对土壤沉积环境状况进行了综合评价,并采用潜在生态危害指数法和单因子污染评价法对该区重金属的污染程度进行了评价。结果表明:研究区单因子污染指数(Pi)、潜在生态风险指数(ERI)的最大值分别为 6.44 和 212.85,平均 Pi、ERI 值也较高,分别为 1.494、114.66,反映出研究区将达到中等污染程度;各重金属元素的潜在生态危害系数大小顺序为:Hg>Cd>As>Cu>Cr>Pb>Zn,反映出研究区受 Hg 和 Cd 元素污染为主。建议该区域重视重金属 Hg 和 Cd 元素的污染治理,避免东寨港沉积环境的进一步恶化。

关键词:东寨港;土壤;重金属污染;污染评价

中图分类号:X825

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)04-0046-05

COMPREHENSIVE EVALUATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN THE SOIL SEDIMENTS OF DONGZHAI BAY

GUAN Min-lin, LOU Xiao-dan, LOU Hua-min

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: According to 20 soil sediment samples (DZ01~DZ20) collected from Dongzhai Bay, the concentrations of total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), total organic carbon (TOC), petroleum pollutants and heavy metals (Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, As) in the surface sediments were measured. The environmental situation of soil sediments was comprehensively evaluated. Potential ecological risk index method and single factor index method were applied to assess the extent of heavy metal pollution. The results showed that the maximum values of single factor index (Pi) and potential ecological risk index (ERI) were 6.44 and 212.85, respectively. The average values of Pi and ERI were 1.494 and 114.66, respectively, which indicated that the study areas would face moderate-extent pollution. The potential ecological risks of the heavy metals followed the order of Hg>Cd>As>Cu>Cr>Pb>Zn, which showed that the study areas were dominated by Hg and Cd pollution. It was suggested that people should pay more attention to Hg and Cd pollution control to prevent further deterioration of ecological environment in Dongzhai Bay.

Key words: Dongzhai Bay; Soil; Heavy metals pollution; Pollution Assessment.

重金属是土壤沉积环境中最主要的污染物之

一。自 20 世纪 80 年代以来,我国区域性环境调查
研究广泛开展,多次均涉及土壤沉积物中重金属

方面,土壤沉积环境地球化学研究表明,在一些局部区域,尤其是河口、海湾的土壤沉积物已受到重金属、有机物等的污染。空前的人类活动,正在迅速地改变着沿海地带的地质景观,因此,对土壤沉积环境及重金属环境地球化学的调查研究具有特殊意义^[1-2]。

东寨港位于海南岛北部,岸线东起新埠海,西至东营,介于海口湾和海南湾之间,外湾为铺前湾和南海相连,内湾为东寨港。东寨港水域开阔,主要以潮滩为主,绝大部分水域的水深小于1 m,沿岸潮间带红树林生长茂密,建有东寨港红树林湿地国家级自然保护区。水下有我国迄今发现的历史上唯一由于古地震形成的水下村落遗迹—72个水下村庄,目前已开辟为独特的旅游观光景点。港内水域辽阔,水清流缓,港湾内大部分为淤泥质浅滩和红树林沼泽区,是铺前镇主要的海水养殖基地。

1 材料与方法

在进行“国家908专项海岸带综合调查”项目中,选取生态环境变化典型的东寨港,布设潮间带土壤剖面,共采集表层土壤样品20件进行分析。

沉积物样品带回实验室,经冷冻干燥后,取部分样品用玛瑙研钵研磨至200目以下,装于新的样品袋中密封保存,备分析用。地球化学测定的项目包括Cu、Hg、Cd、Cr、As、Pb和Zn共7种重金属元素,以及有机质、总氮和总磷等要素。

TP采用过硫酸钾氧化法进行测定^[3]。TOC和TN的测定方法为,称取样品1g左右于10 mL试管中,加入8~9 mL浓度为1 mol/dm³的HCl,用玻璃棒搅拌均匀,静置24 h,以去除碳酸钙;离心后倒去上层清液,用去离子水清洗4~6次,直至中性;将处理好的上述样品冻干干燥,碾磨均匀后用锡箔纸包好密封;用德国产Elementar Vario型元素分析仪(标准偏差为0.1%)测定TOC和TN的含量^[4]。

Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、As、Hg 7种重金属元素以及石油类的测定方法及其所使用的仪器如表1所示。

2 重金属污染评价方法

本文采用单因子污染评价法和潜在生态危害指数法对研究区土壤沉积物中重金属的富集情况进行分析和评价。

表1 重金属元素、石油类的测定方法及其所使用的仪器

项目	检出限/ $\times 10^{-6}$	所用仪器
Cu、Zn、Pb	1	Thermo X Series II型电感耦合等离子体质谱联用仪(SN01426C)
Cr	2	Thermo X Series II型电感耦合等离子体质谱联用仪(SN01426C)
Cd	0.02	Thermo X Series II型电感耦合等离子体质谱联用仪(SN01426C)
As	0.5	AFS-3100型双道原子荧光光度计(25045)
Hg	0.0005	XGY1011A型原子荧光光度计(0822 4)
石油类	1	紫外可见分光光度计(TU1810型)

注:Cu、Zn、Pb、Cr和Cd元素含量测定方法参考DZ/T0223-2001电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法通则;As、Hg元素和石油类含量测定方法参考GB 17378.5-2007。

2.1 单因子污染评价法^[5-6]

为了定量反映海湾内沉积物中各种重金属指标在沉积环境中的富集程度,采用单因子指数法对沉积物污染要素进行分析和评价,单个污染物污染指数的计算公式如下:

$$P_i = C_i / C_n^i$$

式中: P_i 为污染物单因子指数,也称富集指数; C_i 为各要素的实测值; C_n^i 为各要素的环境质量标准,本次调查重金属、有机质和石油类采用海洋沉积物一类标准(GB18668-2002)作为环境质量标准^[7-8],总氮和总磷由于海洋沉积物标准中没有建议值,我们根据《加拿大安大略省沉积物质量指南》取 $C_s(\text{总磷})=0.060\%$, $C_s(\text{总氮})=0.055\%$ 。

单因子指数法可以判断出环境中的主要污染因子,是其他环境质量指数、环境质量分级和综合评价的基础。根据数值 P_i 的大小,可将评价区域分为: $P_i < 1$ 表明未受污染; $1 < P_i < 2$ 表示受到轻度污染; $P_i > 2$ 表示受到污染, P_i 值越大表明受到的污染越严重。

2.2 潜在生态危害指数法^[9-10]

设 i 为污染因子,则研究区单个重金属潜在生态危害系数(E)以及多个重金属的潜在生态危害污染指数(E_{RI})计算公式为

$$\text{其中: } E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$

$$E_{RI} = \sum^m E_r^i = \sum^m T_r^i \times C_f^i$$

$$C_f^i = C_i / C_n^i$$

$$C_d = \sum_m^i C_f^i$$

式中： C_i 为实测含量； C_n^i 为评价参比值，本文选用了南海近海沉积物重金属元素丰度为标准； C_f^i 为污染系数； C_d 为污染程度； T_r^i 为重金属元素毒性响应系数，可反映重金属元素的毒性水平及生物对重金属元素污染的敏感程度^[9]。重金属

表 2 重金属元素的背景参照值(C_n^i)及其毒性响应系数(T_r^i)

评价指标	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As
$C_n^i(10^{-6})$	0.025	15	20	65	0.065	61	7.7
T_r^i	40	5	5	1	30	2	10

元素的背景参照值及其毒性响应系数如表 2 所示，重金属元素的污染评价指标、污染程度及其与潜在生态风险程度的关系参照文献^[10]进行。

3 结果与讨论

3.1 TP、TOC 和 TN 含量的分布特征及其沉积环境

各站位表层土壤沉积物中 TP、TOC、TN、重金属元素及石油类含量见表 3。

表 3 各站位土壤沉积物中各重金属元素、石油类以及 TP、TOC、TN 的含量(单位： 10^{-6})

站位	沉积物类型	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As	TN	TOC	TP	石油类
DZ01	粉砂质粘土含贝壳	0.02	5.938	17.343	36.901	0.04	29.4	5.1	0.04	0.32	0.02	<1.0
DZ02	粘土含贝壳碎屑	0.029	12.09	23.553	54.351	0.043	52.4	7.9	0.09	0.68	0.03	<1.0
DZ03	砂质粘土含贝壳碎屑	0.031	13.53	26.143	57.261	0.075	47.4	7.5	0.09	0.74	0.03	<1.0
DZ04	粘土含贝壳	0.037	15.96	27.783	68.071	0.078	64.1	7.2	0.12	0.85	0.05	<1.0
DZ05	粘土含贝壳	0.026	10.1	20.933	46.311	0.023	51.1	8.2	0.08	0.68	0.04	<1.0
DZ06	粉砂质粘土含腐殖质和贝壳	0.026	8.853	20.343	40.991	0.063	37.2	6.45	0.10	0.69	0.03	2.5
DZ07	粉砂富含底栖生物	0.014	4.664	13.443	22.871	0.03	21.7	4.8	0.03	0.17	0.02	<1.0
DZ08	粘土	0.031	10.64	22.603	44.511	0.046	45.8	8.3	0.08	0.69	0.04	<1.0
DZ09	粘土含腐殖质和贝壳	0.019	7.645	17.933	38.081	0.038	36.3	4.8	0.09	0.80	0.03	1.84
DZ10	粘土含贝壳	0.026	10.76	19.533	44.091	0.047	47.7	6.6	0.10	0.84	0.03	1.74
DZ11	粘土含腐殖质和贝壳	0.038	10.49	22.433	49.561	0.063	48.1	7.1	0.07	0.48	0.03	<1.0
DZ12	粘土含贝壳	0.027	11.08	21.823	49.191	0.038	52.2	6.6	0.04	0.37	0.04	1
DZ13	粘土含贝壳碎屑	0.047	24.65	34.123	82.071	0.092	191	17.2	0.15	1.24	0.06	1.28
DZ14	粘土含黑色腐殖质	0.068	24.47	40.303	100.641	0.089	103	9.5	0.22	1.49	0.07	11.05
DZ15	粘土含碎屑	0.064	45.06	29.653	119.941	0.119	515	10.9	0.14	1.31	0.10	7.29
DZ16	粘土	0.043	16.02	28.463	67.751	0.063	73.2	7.4	0.10	0.77	0.05	2.24
DZ17	粘土含贝壳	0.055	20.24	30.523	76.201	0.077	83.3	6.2	0.15	1.24	0.06	8.45
DZ18	粘土	0.068	32.66	35.063	102.641	0.152	117	6.8	0.20	1.70	0.07	17.05
DZ19	粘土含贝壳	0.036	12.82	25.393	60.676	0.0445		61.95	7.4	0.10	0.75	1.23
DZ20	粘土富含黑色腐殖质和贝壳	0.039	14.59	29.053	65.521	0.072	61.9	8.4	0.09	0.58	0.06	4.45

注：各重金属元素、石油类含量由浙江省地质矿产研究所测定。

由表 3 可见，TP 含量为 $(0.02\sim 0.10)\times 10^{-6}$ ，高值区主要分布于东寨港中部的 DZ14、DH15、DZ17 和 DZ18 等站位，东部铺前镇-南溪村沿岸带、西北部滨海村-塔市村沿岸带为低值区。TP 在沿岸带出现低值，而在东寨中部出现高值的这种分布特征，可能与沿岸带较强的陆源输入导致初级生产力的差异有关。由于沿岸带的陆源输入较强，初级生产力较高，水体中所消耗的磷营养盐较多，磷含量也较低；在东寨港中部，由于初级生产力较弱，所消耗的磷营养盐较少，磷含量也较高。TN 和 TOC 含量分别为 $(0.03\sim 0.22)\times 10^{-6}$ 和 $(0.17\sim 1.70)\times 10^{-6}$ ，两者的含量变化趋势基本一致，DZ13、DZ14、DZ17 和 DZ18 站位附近为高值区，而 DZ01、DZ07

至 DZ12 站位附近为低值区，与 TP 含量的分布特征一致，呈现出在沿岸带高值和东寨港中部低值的分布特征，且离沿岸带越近的站位含量越高，而东寨港中部站位 TOC 含量值基本为 0.10×10^{-6} ，沿岸带与东寨港中部海区 TOC 高低含量明显差异的分布特征，说明 TOC、TN 受沿岸带陆源输入、渔业养殖等人为活动影响较大。

3.2 重金属元素及石油类含量的分布特征

研究区重金属 Hg 和 Cd 元素的含量分别为 $(0.01\sim 0.07)\times 10^{-6}$ 和 $(0.02\sim 0.15)\times 10^{-6}$ ，两者含量分布特征较为相似。重金属 Cu 元素的含量为 $(4.66\sim 45.06)\times 10^{-6}$ 、Pb 元素的含量为 $(13.44\sim 40.30)\times 10^{-6}$ 、Zn 元素的含量为 $(22.87\sim 119.94)\times 10^{-6}$ 、Cr 元素

的含量为 $(21.72\sim 515.02)\times 10^{-6}$,上述4种重金属元素的含量变化趋势较为相近,都在DZ13、DZ14、DZ15、DZ17、DZ18站位出现高值,这些站位均位于研究区的中心和西南角位置。重金属As元素的含量为 $(4.80\sim 17.20)\times 10^{-6}$,高值出现在DZ13~DZ15站位附近海域,东部铺前镇—南溪村沿岸带表现出明显的低值。研究区重金属元素含量分布特征的这种一致性表明,重金属元素高值区沉积物中的重金属污染物,可能与西南部演丰镇的工业排水密切相关,而低值区可能与其区域工业排污小有关,也可能是由于入海口处潮汐水动力的稀释作用有关,由于研究区入海口处与琼州海峡

相通,水动力的稀释作用降低了重金属元素的沉降和富集。

3.3 土壤沉积物的重金属污染评价

3.3.1 单因子污染评价

由单因子污染指数(表4),可知东寨港土壤沉积物中重金属元素主要表现为受Cr和Cu的污染较大,其中Cr元素的单因子污染指数 P_i 最大值达到了6.44,属严重污染程度, P_i 平均值大于1,反映东寨港受Cr元素的总体污染达到了轻度污染程度。另外,土壤沉积物中的氮和磷也超出了评价标准值,这说明东寨港受周边地区人类活动的影响而积累了有机质和营养元素。

表4 沉积物化学要素、单因子污染富集系数 P_i 计算结果统计

单因子污染富集系数 P_i 值									
汞(Hg)	铜(Cu)	铅(Pb)	锌(Zn)	镉(Cd)	铬(Cr)	铬(Cr)	总磷	总氮	有机质
0.07~0.34 (0.19)*	0.13~1.29 (0.45)	0.22~0.67 (0.42)	0.15~0.80 (0.41)	0.05~0.30 (0.13)	0.27~6.44 (1.09)	0.24~0.86 (0.39)	0.28~1.65 (0.73)	0.46~3.99 (1.89)	0.09~0.85 (0.41)

3.3.2 潜在生态危害指数法

根据潜在生态危害指数法的计算结果(表5),东寨港土壤沉积物中各重金属元素综合污染指数 C_d 值范围为3.34~20.58,平均值8.16,大于8,即说明东寨港平均达到了中等污染程度^[11];潜在生态危害系数(E_r^i)危害指数的范围为9.48~47.97,平均值为22.10,说明潜在生态危害较轻,

按各重金属元素的大小顺序为:Hg>Cd>As>Cu>Cr>Pb>Zn;值范围为48.46~212.85,平均值114.66,表明总体上为轻微危害^[12-13]。

总体上,东寨港土壤沉积物中重金属的潜在生态危害属于轻微危害,主要受Hg和Cd污染较为明显,并且沉积物中氮的污染也较为严重。

表5 各重金属元素的潜在生态危害系数(E_r^i)、污染程度(C_d)和生态风险指数(E_{ri})

站位	E_r^i							C_d	E_{ri}
	Hg/ 10^{-6}	Cu/ 10^{-6}	Pb/ 10^{-6}	Zn/ 10^{-6}	Cd/ 10^{-6}	Cr/ 10^{-6}	As/ 10^{-6}		
DZ01	32.00	1.98	4.34	0.57	18.46	0.96	6.62	4.39	64.93
DZ02	46.40	4.03	5.89	0.84	19.85	1.72	10.26	6.53	88.98
DZ03	49.60	4.51	6.54	0.88	34.62	1.55	9.74	7.24	107.44
DZ04	59.20	5.32	6.95	1.05	36.00	2.10	9.35	8.17	119.97
DZ05	41.60	3.37	5.23	0.71	10.62	1.68	10.65	5.73	73.85
DZ06	41.60	2.95	5.09	0.63	29.08	1.22	8.38	5.69	88.94
DZ07	22.40	1.55	3.36	0.35	13.85	0.71	6.23	3.34	48.46
DZ08	49.60	3.55	5.65	0.68	21.23	1.50	10.78	6.30	92.99
DZ09	30.40	2.55	4.48	0.59	17.54	1.19	6.23	4.56	62.98
DZ10	41.60	3.59	4.88	0.68	21.69	1.56	8.57	5.77	82.58
DZ11	60.80	3.50	5.61	0.76	29.08	1.58	9.22	6.78	110.54
DZ12	43.20	3.69	5.46	0.76	17.54	1.71	8.57	5.96	80.93
DZ13	75.20	8.22	8.53	1.26	42.46	6.26	22.34	13.27	164.27
DZ14	108.80	8.16	10.08	1.55	41.08	3.38	12.34	12.21	185.37
DZ15	102.40	15.02	7.41	1.85	54.92	16.89	14.16	20.28	212.64
DZ16	68.80	5.34	7.12	1.04	29.08	2.40	9.61	8.38	123.39
DZ17	88.00	6.75	7.63	1.17	35.54	2.73	8.05	9.60	149.87
DZ18	108.80	10.89	8.77	1.58	70.15	3.84	8.83	13.37	212.85
DZ19	56.80	4.27	6.35	0.93	20.54	2.03	9.61	7.14	100.54
DZ20	62.40	4.83	7.26	1.01	33.23	2.03	10.91	8.21	121.70

4 结论

研究区土壤沉积物中各重金属元素的 E_r^i 、 C_d 和 E_{RI} 系数综合评价结果表明, 重金属 Hg 元素的 E_r^i 的平均值为 59.48, 研究区生态风险危害程度中等, Hg 元素的 E_r^i 值在几个站位中大于 80, 说明其附近海域已属强危害程度; 其它 6 种重金属元素的 E_r^i 平均值都小于 40, 故其附近海域属低危害程度。按各重金属元素的 E_r^i 大小顺序为: $Hg > Cd > As > Cu > Cr > Pb > Zn$ 。各重金属 E_{RI} 值范围为 48.46~212.85, 平均值为 114.66, 平均达到了中等污染程度。除在 E_{RI} 的高值区河流输入重金属 Hg 和 Cd 元素的潜在生态危害达中等水平外, 其它重金属元素单因子对研究区生态系统的潜在危害表现较为轻微, 这可能与演丰镇附近的工业排水时向该海域输入了含有这些重金属元素的污染物, 而其他区域受工业排污影响小所致, 也可能与入海口的潮汐水动力作用有关。

参考文献

- [1] 王红晋, 叶思源, 杜远生, 李绍全, 朱爱美. 胶州湾东部和青岛前海表层沉积物重金属分布特征及其对比研究[J]. 海洋湖沼通报, 2007, 4:80-86
- [2] QUAN Wei-min, SHI Li-yan, HAN Jin-di. Spatial and temporal distributions of nitrogen, phosphorus and heavy metals in the in-

- tertidal sediment of the Chang-jiang River Estuary in China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(1):108-115
- [3] 扈传昱, 王正方, 吕海燕. 海水和海洋沉积物中总磷的测定[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(3):48-52.
- [4] 王爱军, 陈坚, 李东义, 卓志强. 泉州湾海岸湿地沉积物 C、N 的空间变化[J]. 环境科学, 2007, 88(10):2361-2368.
- [5] 叶素桃, 张思佳, 彭亚绵, 杨萌. 单因子指数法在土壤重金属污染模型的应用研究[J]. 数学学习与研究, 2016, 11:141-142.
- [6] 霍文毅, 黄风茹, 陈静生, 贾振邦. 河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J]. 地理科学, 1997, 17(1):81-86.
- [7] 张远辉, 杜俊民. 南海表层沉积物中主要污染物的环境背景值[J]. 海洋学报, 2005, 27(4):161-166.
- [8] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物化学元素丰度[J]. 中国科学, 1993, 23(10):1084-1090.
- [9] 张丽旭, 蒋晓山, 赵敏, 李志恩. 长江口洋山海域表层沉积物重金属的富集及其潜在生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(3):351-356.
- [10] 蒋红, 胡益峰, 徐灵燕, 李卫丁. 舟山近岸海域表层沉积物中 5 种重金属元素的污染及其潜在生态风险评价[J]. 海洋学研究, 2011, 29(1):56-61.
- [11] 安立会, 郑丙辉, 张雷, 贾宁, 秦延文, 赵兴茹, 贾静. 渤海湾河口沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5):666-670.
- [12] 张少峰, 林明裕, 魏春雷, 刘保良, 张志娟. 广西钦州湾沉积物重金属污染现状及潜在生态风险评价[J]. 海洋通报, 2010, 29(4):450-454.
- [13] Farkas A, Erratico C, Vigano L. Assessment of the environmental significance of heavy metals pollution in surficial sediments of the River Po[J]. Chemosphere, 2007, 68(4):761-768.

(上接第 61 页)

环境质量现状、污染物控制技术水平、达标排放等微观数据, 建立针对不同行业的环评大数据应用体系, 增强我国环评领域信息共享与数据共用, 并整合环评、污染物排放标准、总量控制、排污交易等环境管理制度, 探讨“互联网+”在环境影响评价领域的应用, 推动环评工作科学、高效、简化^[3]。

4 结语

“十三五”期间我国环保面临新的发展态势: 环保违法成本更高, 精简审批, 强化全过程监督, 注重规划环评和战略环评的重要性, 公众的环保意识越来越强, 参与环保更加自觉^[4]。为此, 环评工

作要适应这种新形势新变化, 切实精简环评审批, 提升环评质量, 通过强化事中事后监管, 以更精准的“管”促进更大幅度的“放”, 使环境影响评价制度在新时期焕发新的生命活力。

参考文献

- [1] 郑欣璐, 包存宽. 环评改革应着力于提高有效性[J]. 中国生态文明, 2016, (5):33-35
- [2] 易海涛. 审视目前的环境影响评价[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(8):183-188
- [3] 徐蕾. 环保新形势下环境影响评价工作存在的挑战及建议[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2016, 26(1):7-10
- [4] 刘志云. 环保新形势下环境影响评价工作浅析[J]. 资源节约与环保, 2017, (7):109